

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-331035

(P2000-331035A)

(43) 公開日 平成12年11月30日 (2000. 11. 30)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

G 0 6 F 17/50

識別記号

F I

G 0 6 F 15/60

テマコード\* (参考)

6 3 6 A 5 B 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数10 O L 外国語出願 (全 43 頁)

(21) 出願番号 特願平11-126463

(22) 出願日 平成11年5月6日 (1999. 5. 6)

(71) 出願人 390041542

ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ  
GENERAL ELECTRIC CO  
MPANY

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ  
クタデイ、リバーロード、1番

(72) 発明者 フィリップ・ボール・ボウチャンプ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、レック  
スフォード、リヴァーウィンド・ドライ  
ブ、17番

(74) 代理人 100093908

弁理士 松本 研一

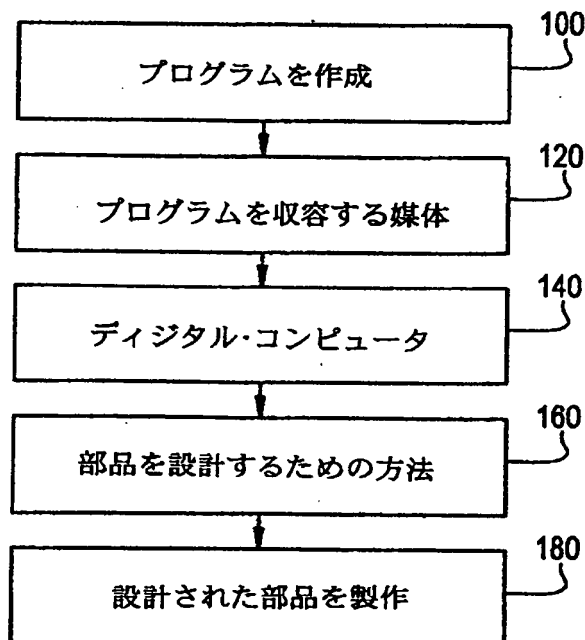
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 製造物品を設計する方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 製造物品を設計し、随意選択により製作するための方法を提供する。

【解決手段】 顧客要求条件パラメータが定められ、関係するエンジニアリング・パラメータが選ばれる。コンピュータ・プログラムを使用して、幾何学的パラメータで表した物品のパラメトリック幾何学的表現 (すなわち、マスタ・モデル) が作成される。設計解析手法が作成され、コンピュータ・コードにプログラミングされ、コンピュータ媒体に記憶されて、エンジニアリング・パラメータ及び顧客要求条件パラメータがプログラム入力になり且つマスタ・モデルの幾何学的パラメータがプログラム出力になるようにされる。該入力の特定の値がコンピュータ・コードに入力される。コンピュータ・コードがデジタル・コンピュータで実行されて、マスタ・モデルの幾何学的パラメータの特定の値が出力される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 製造物品を設計する方法において、

- a) 1つ以上の顧客要求条件パラメータを定める工程と、
  - b) コンピュータ支援設計プログラムを使用して、幾何学的パラメータで表した製造物品のパラメトリック幾何学的表現を作成する工程であって、この製造物品のパラメトリック幾何学的表現がマスタ・モデルを定めている工程と、
  - c) 前記マスタ・モデルをコンピュータの媒体に記憶させる工程と、
  - d) 前記顧客要求条件パラメータに関係する1つ以上のエンジニアリング・パラメータを選ぶ工程と、
  - e) 前記マスタ・モデルを前記エンジニアリング・パラメータ及び前記顧客要求条件パラメータに関係付ける設計解析手法を作成する工程と、
  - f) 前記のエンジニアリング・パラメータ及び顧客要求条件パラメータがプログラム入力になり且つ前記マスタ・モデルの幾何学的パラメータがプログラム出力になるように、前記設計解析手法をコンピュータ・コードにプログラミングする工程と、
  - g) 前記コンピュータ・コードを前記コンピュータ媒体に記憶させる工程と、
  - h) 前記のエンジニアリング・パラメータ及び顧客要求条件パラメータの特定の値を前記コンピュータ・コードに入力する工程と、
  - i) 前記コンピュータ・コードをデジタル・コンピュータで実行して、前記マスタ・モデルの幾何学的パラメータの特定の値を前記デジタル・コンピュータから出力する工程とを含んでいることを特徴とする前記方法。
- 【請求項2】 また、製造物品を製作するために、工程i) から得られたマスタ・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値を持つ製造物品を製作する工程を含んでいる請求項1記載の方法。
- 【請求項3】 工程f) は、前記設計解析手法を反復的コンピュータ・コードにプログラミングすることを含み、工程i) は、前記コンピュータ・コードを反復的に実行する工程を含んでいる請求項1記載の方法。
- 【請求項4】 工程f) は、工程i) において前記マスタ・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値の1つ以上が手動でオーバーライドされて、その後前記コンピュータ・コードが反復的に再び実行し続けて、前記手動で書き込まれた値を保ちながら前記マスタ・モデルの幾何学的パラメータについての他の特定の値を出力するように、前記設計解析手法を反復的コンピュータ・コードにプログラミングすることを含んでいる請求項3記載の方法。
- 【請求項5】 また、製造物品を製作するための製造プロセスを設計するために、
- j) 製造物品を製作するための製造基準及び1つ以上の

製造イネーブラーを含む製造プロセスを選ぶ工程と、

k) 前記製造プロセスを前記エンジニアリング・パラメータ及び前記マスタ・モデルの幾何学的パラメータに関係付ける製造解析手法を作成する工程と、

l) コンピュータ支援設計プログラムを使用して、幾何学的パラメータで表した前記製造イネーブラーのパラメトリック幾何学的表現を作成する工程であって、この製造イネーブラーのパラメトリック幾何学的表現が製造イネーブラー・モデルを定めている工程と、

m) 前記製造イネーブラー・モデルを前記コンピュータ媒体に記憶させる工程と、

n) 前記製造基準がコンピュータ・コード入力になるように、前記製造解析手法を前記コンピュータ・コードに取り入れる工程と、

o) 前記製造基準の特定の値を前記コンピュータ・コードに入力する工程とを含んでおり、

工程i) がまた、前記コンピュータ・コードから、前記製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの特定の値を出力することを含んでいる、請求項1記載の方法。

【請求項6】 また、製造物品を製作するために、工程i) から得られた前記製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値により、工程j) で選ばれた製造プロセスを使用することによって、工程i) から得られた前記マスタ・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値を持つ製造物品を製作する工程を含んでいる請求項5記載の方法。

【請求項7】 工程f) は、前記設計解析手法を反復的コンピュータ・コードにプログラミングすることを含み、工程i) は、前記コンピュータ・コードを反復的に実行する工程を含んでいる請求項5記載の方法。

【請求項8】 工程n) は、工程i) において前記製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値の1つ以上が手動でオーバーライドされて、その後前記コンピュータ・コードが反復的に再び実行し続けて、前記製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの前記手動でオーバーライドされた値を保ちながら前記製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの他の特定の値を出力するように、前記製造解析手法を反復的コンピュータ・コードに取り入れることを含んでいる請求項7記載の方法。

【請求項9】 工程f) は、工程i) において前記マスタ・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値の1つ以上が手動でオーバーライドされて、その後前記コンピュータ・コードが反復的に再び実行し続けて、前記マスタ・モデルの幾何学的パラメータの前記手動でオーバーライドされた値を保ちながら前記マスタ・モデルの幾何学的パラメータの他の特定の値を出力するように、前記設計解析手法を反復的コンピュータ・コードにプログラミングすることを含んでいる請求項8記載の方

法。

【請求項10】 また、製造物品を製作するために、工程i) から得られた前記製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値により、工程j) で選ばれた製造プロセスを使用することによって、工程i) から得られた前記マスタ・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値を持つ製造物品を製作する工程を含んでいる請求項9記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の分野】本発明は、一般的にはエンジニアリング・コンピュータ・デザイン・ツールに関するものであり、更に詳しくは、製造物品のエンジニアリング・デザイン及び随意選択によるその製作のためのプロセス、デジタル・コンピュータ、並びにデジタル・コンピュータにより読出し可能な媒体に関するものである。

【0002】

【発明の背景】部品（すなわち、製造物品）のエンジニアリング・デザインのための既知の手法には、コンピュータ・スプレッドシート（表計算ソフトウェア）を使用することが含まれており、これらのスプレッドシートは、設計技師が1つ以上の幾何学的変数を変えることが出来るようにする物品の数理幾何学的モデルでプログラミングされていて、所望の制約内で他の幾何学的変数を計算する。場合によっては、物品の数理幾何学的モデルはパラメトリック幾何学的モデルとして表される。このようなモデルは、典型的には、市販のコンピュータ支援設計（CAD）プログラムを使用して開発されている。このようなプログラムの例としては、ユニグラフィクス（Unigraphics）、プロエンジニア（PRO-Engineer）、I D E A S等が挙げられる。

【0003】典型的には、設計技師が物品の初期幾何学的記述を作成し、寸法に値を割り当て、このような初期ジオメトリ（geometry）値を使用して別個の数学的エンジニアリング解析を実行して、設計のエンジニアリングの面を判定する。これは、設計のエンジニアリングの面についての許容値に達するまで繰り返される。次いで、設計技師は、或る幾何学的変数を変えて、数学的エンジニアリング解析を再び実行する。設計の最終的なジオメトリが、ライフ・サイクル要求条件のような顧客の要求条件に対して検査される。次いで、設計技師はその設計を製造担当者に送り、製造担当者は物品が製造可能であるか判定する解析を行って、その設計を修正のために設計技師に戻すか、或いは製造プロセスを開発して実際に部品を製作するように進む。

【0004】そこで、製造物品を設計し製作するための一層効率のよい方式が必要とされている。

【0005】

【発明の概要】製造物品を設計するための本発明の方法は、以下の工程a)乃至i)を含む。すなわち、工程

10

20

30

40

50

a)は、1つ以上の顧客要求条件パラメータを定めることを含む。工程b)は、コンピュータ支援設計プログラムを使用して、幾何学的パラメータで表した製造物品のパラメトリック幾何学的表現（すなわち、マスタ・モデル）を作成することを含む。工程c)は、マスタ・モデルをコンピュータの媒体に記憶させることを含む。工程d)は、顧客要求条件パラメータに関係する1つ以上のエンジニアリング・パラメータを選ぶことを含む。工程e)は、マスタ・モデルをエンジニアリング・パラメータ及び顧客要求条件パラメータに関係付ける設計解析手法を作成することを含む。工程f)は、設計解析手法をコンピュータ・コードにプログラミングして、エンジニアリング・パラメータ及び顧客要求条件パラメータがプログラム入力になり且つマスタ・モデルの幾何学的パラメータがプログラム出力になるようにすることを含む。工程g)は、コンピュータ・コードをコンピュータの媒体に記憶させることを含む。工程h)は、エンジニアリング・パラメータ及び顧客要求条件パラメータの特定の値をコンピュータ・コードに入力することを含む。工程i)は、コンピュータ・コードをデジタル・コンピュータで実行して、マスタ・モデルの幾何学的パラメータの特定の値をデジタル・コンピュータから出力することを含む。

【0006】一実施態様においては、本発明の方法はまた、製造物品を製作するための製造プロセスを設計するために、以下の工程j)乃至o)を含む。工程j)は、製造物品を製作するための製造基準及び1つ以上の製造イネーブラー（enabler）を含む製造プロセスを選ぶことを含む。工程k)は、製造プロセスをエンジニアリング・パラメータ及びマスタ・モデルの幾何学的パラメータに関係付ける製造解析手法を作成することを含む。工程l)は、コンピュータ支援設計プログラムを使用して、幾何学的パラメータで表した製造イネーブラーのパラメトリック幾何学的表現を作成することを含み、製造イネーブラーのパラメトリック幾何学的表現は製造イネーブラー・モデルを定める。工程m)は、製造イネーブラー・モデルをコンピュータ媒体に記憶させることを含む。工程n)は、製造基準がコンピュータ・コード入力になるように、製造解析手法をコンピュータ・コードに取り入れることを含む。工程o)は、製造基準の特定の値をコンピュータ・コードに入力することを含む。この実施態様では、工程i)はまた、コンピュータ・コードから、製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの特定の値を出力することを含む。

【0007】別の実施態様では、コンピュータ・コードは反復的コンピュータ・コードであり、マスタ・モデル及び/又は製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値は手動でオーバーライド（override）することができ、その後、コンピュータ・コードは反復的に実行し続けて、手動でオーバーライドされた

値を保ちながら他の特定の値を出力する。

【0008】更に別の実施態様では、本発明の方法はまた、製造物品を製作するために、工程 i) から得られたマスタ・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値と、また工程 i) から得られた製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値とを持つ製造物品を製作する工程を含む。

【0009】本発明から幾つかの利益及び利点が得られる。公称幾何学的パラメータの代わりに所望のエンジニアリング・パラメータを入力として使用することにより、エンジニアリング設計時間が短縮される。製造可能性を要因として設計プロセスに取り入れることは、製造担当者が生産可能性のために所与のデザインを検討し及び／又は解析する必要のないことを意味する。要因として顧客の要求条件を取り入れることは、製造される部品の品質が顧客の期待を満足させることを保証し、これは製造側にとっては保証作業を低減し且つ顧客側にとっては潜在的なダウンタイムを低減する。マスタ・モデル及び／又は製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータのコンピュータ・コードからの出力された特定の値を手動でオーバーライドすることができようにしたことにより、同じ物品形式内の（又は同じ製造プロセス形式内の）異なる特定の物品の設計及び製造が素速く行えるようになり、ここで、当業者には理解され得るように、異なる特定の物品（又は異なる特定の製造プロセス）はそれらの1つ以上の幾何学的パラメータに異なる難しい制約を有する。

【0010】

【発明の詳しい説明】本発明は、製造物品のエンジニアリング・デザイン及び随意選択によるその製作のためのプロセス、デジタル・コンピュータ、又はデジタル・コンピュータにより読出し可能な媒体として表すことが出来る。このような物品又は部品は簡単なものから複雑なものにわたり、限定ではなく例として、ボルト又はガスタービン燃焼器が挙げられる。

【0011】発明全体の構成が図1の装置／プロセス混成のブロック図に示されている。ブロック100は「プログラムを作成」と記されており、そのプログラムは「プログラムを収容する媒体」と記されているブロック120に記憶される。その媒体はデジタル・コンピュータによって読出し可能な媒体である。1つの媒体はコンピュータのハードディスクである。その他の媒体としては、限定ではなく例として、フロッピー・ディスク及びCD-RWディスクが挙げられる。ブロック120は、「デジタル・コンピュータ」と記されたブロック140によって読み出される。デジタル・コンピュータの選択は担当者に任されている。しかしながら、選ばれる1つのデジタル・コンピュータは、HPUXオペレーティング・システムで動作するヒューレット・パカード社の9000/C110である。媒体上のプログ

ラムは、デジタル・コンピュータに、「部品を設計するための方法」と記されたブロック160を実行させる。設計された部品を定める情報が、「設計された部品を製作」と記されたブロック160へ送られる。ブロック100、160及び180の内容については以下に更に説明する。

【0012】ブロック100が、図2のプロセス流れ図に一層詳しく示されている。ブロック100は、「設計プログラムを作成」と記されたブロック200及び「製造プログラムを作成」と記されたブロック210を含む。ブロック200は図3に詳しく示されており、以下に説明するプロセス工程1-7に対応するものとして以後定められるブロック1-7を含む。ブロック210は図4に詳しく示されており、以下に説明するプロセス工程A-Eに対応するものとして以後定められるブロック211乃至215を含む。ブロック160は図5に詳しく示されており、以下に説明するプロセス工程8-14に対応するものとして以後定められるブロック8-14を含む。ブロック180は図6に詳しく示されており、以下に説明するプロセス工程15-17に対応するものとして以後定められるブロック15-17を含む。ブロック6は図7に示されている工程を実行し、以下に説明するプロセス工程I-Xに対応するものとして以後定められるブロック301-310を含む。

【0013】以下の記載は、アウトライン1と呼ぶもので、プロセスの工程を示す。

【0014】プロセスの工程1は「部品についての顧客要求条件パラメータを設定する（すなわち、定める）」ことであり、図3において「顧客の部品要求条件を設定」と記されたブロック1として示されている。顧客の要求条件は、満足させるべきと期待されている部品の全性能についての顧客要求条件パラメータの特定の値又は制約と定義される。限定ではなく例として挙げれば、最大重量、最小寿命、最小信頼性、最小強度、耐久性、最小環境運転条件、基準に対する適応度、コストなどがある。一例として、共通のシリアル収容箱について考察する。この場合、顧客（シリアル製造業者）は、最小のコストで、Xオンスの製品を保持することが出来、且つ充填した箱を10個積み重ねても底側の箱が押し潰されないような最小強度を持つ箱を欲していることがある。

【0015】プロセスの工程2は「コンピュータ支援設計（CAD）プログラムを使用して部品のパラメトリック幾何学的表現（マスタ・モデル）を作成すること」であり、図3において「CADを使用してマスタ・モデルを作成」と記されたブロック2として示されている。マスタ・モデル（すなわち、部品のパラメトリック表現）は、コンピュータ支援設計ソフトウェア（その商業上入手可能なものは、例えば、ユニグラフィクス(Unigraphics)、ProE、IDEAS等である）内で使用可能なコンピュータ・モデル／表現として定義され、このモデ

ルにおいては、部品のジオメトリが特徴部（孔、線、曲線、面取り、ブレード、半径など）及び該特徴部に関連する寸法パラメータ（これらは所与の時点において特定の数値を持つ）の項目で記述される。部品のこの表現は、しばしば「ゴムバンド部品」と呼ばれ、その理由はその寸法の全てについて融通がきくからである。シリアル収容箱の例では、箱はその長さ、幅、高さ、及び厚紙材の厚さによって記述され、それらの値は全て変えることが出来る。このモデルの融通性を理解するために、これはまた運送業者の荷造り箱を記述するものでもあることに留意されたい。

【0016】プロセスの工程3は「コンピュータ媒体にマスタ・モデルを記憶する」ことであり、図3においては「媒体にマスタ・モデルを記憶」と記されたブロック3として示されている。

【0017】プロセスの工程4は「部品についての良好な設計に関係する（すなわち、顧客要求条件パラメータに関係する）エンジニアリング・パラメータを設定する（すなわち、選ぶ）」ことであり、図3において「エンジニアリング部品パラメータを設定」と記されたブロック4として示されている。エンジニアリング・パラメータは、設計プロセスに対する入力として使用される1つの又は一連の値を持つ変数として定義され、その設計プロセスの最終目標は、部品の性能が入力の顧客要求条件パラメータを満足するように部品の最終的なパラメータ値を設定することである。限定ではなくその例としては、温度、圧力、材質、（圧縮機羽根列内の羽根の数における様な）項目の実例の数、圧力降下などである。シリアル収容箱の例では、これは好ましくは厚紙の材質、製品の密度などである。

【0018】プロセスの工程5は「物品のパラメトリック幾何学的表現（すなわち、マスタ・モデル）をエンジニアリング・パラメータ及び顧客要求条件パラメータに関係付ける設計解析手法を作成する」ことであり、図3において「設計解析手法を作成」と記されたブロック5として示されている。設計解析手法は、部品が顧客の特定した所望の機能的な要求条件を満足するかどうか判定するために実行されるエンジニアリング解析のシーケンスとして定義される。この解析は設計している部品に特有のものであるが、種々の部品寸法を必要とときに変更することを可能にする程に充分に一般的でもある。所与の部品については、これは解析により導き出された結果の任意の又は全ての組合せ、市販のソフトウェアからの解析の結果、実験計画からの応答面、会社所有の経験的手順、会社内標準設計法、教科書的手順などを適切な順序で含むことが好ましい。シリアル収容箱の例では、限定ではなく例として挙げると、これは、好ましくは、1) 製品の密度に基づいて所要の容積を計算すること、2) 審美的な箱の大きさについての会社内手順に基づいて容積を求めるために主要寸法を選択すること、3) 厚さ、

寸法及び材質に基づいて臨界的な破砕パラメータを計算すること、4) 表面積をコストに関係付ける経験的モデルに基づいてコストを計算すること、などの一連の計算である。設計解析手法は、当業者には理解されるように、これらの結果を所望の要求条件と比較する工程、それに対応して寸法を調節する工程、そしてそれらを繰り返す工程を含む。

【0019】プロセスの工程6は「エンジニアリング・パラメータ及び顧客要求条件パラメータがプログラム入力になり且つ幾何学的寸法が出力になるように、設計解析手法を設計スプレッドシート（すなわち、デジタル・コンピュータに対するコンピュータ・スプレッドシート・プログラム又は他の非スプレッドシート・コンピュータ・プログラムであるコンピュータ・コード）にプログラミングすること（この工程についての提案された手法の詳細は、アウトライン2に記載される）」であり、図3において「設計スプレッドシートにプログラミング」と記されたブロック6として示されている。一旦、設計解析手法が定められると、それは設計技師によって使用するためにコンピュータ・コード（すなわち、スプレッドシート又は他の適当なコンピュータ・プログラム）にプログラミングされる。これは同じ構成形状及び要求条件の全ての部品に対して普遍性があるので、多数の部品に再使用可能である。例えば、全ての大きさのシリアル収容箱を設計するために良好なシリアル収容箱スプレッドシート設計ツールを使用することが好ましい。これをどの様にするかについての手法を含む完全な詳細は、後で提示するアウトライン2において説明する。

【0020】プロセスの工程7は「設計スプレッドシート（すなわち、コンピュータ・コード）を媒体に記憶する」ことであり、図3において「設計スプレッドシートを媒体に記憶」と記されたブロック7として示されている。

【0021】プロセスの下記の工程（A-E）は任意選択による手法であり、基本の設計プロセスでは必要ではない。

【0022】プロセスの工程Aは「部品を製作するために使用される、製造基準及び1つ以上の製造イネーブラー（enabler）を含む製造プロセスを設定する（すなわち、選ぶ）」ことであり、図4において「製造プロセスを設定」と記されたブロック211として示されている。一旦、製造物品が定められると、部品を製作するために使用される製造プロセスを設定することが可能になる。このプロセスは、一般的に、原材料、例えば厚紙のシート素材を最終の部品に変換するための多数の工程から成る。シリアル収容箱では、幾つかの工程は、平坦な厚紙のシートからフラップを備えた箱の形状を切り出し、一方の面にパッケージ用設計を適用し、折曲げ位置を予め作成するようにシートをスタンピングし、折り曲げ、接着すること等を含む。一般的に云えば、製造イネ

ープラーは、設計された部品の特定の事例と一致する製造プロセス入力又は製造プロセスの入力成分の表現である。例として、構成部品を作るためのプロセス・シート、製図用図面、ツーリングのためのパラメトリック・マスタ・モデル（ツーリング・モデル）、取付け具のためのパラメトリック・マスタ・モデル（取付け具モデル）、構成部品に関連する注入成形ジオメトリイに対するパラメトリック・マスタ・モデル（注入成形モデル）、NC機械に対する入力データ、入手可能な標準的な素材の大きさについてのテーブルなどが挙げられる。製造基準は、部品を製作するために使用されるモールドの壁厚のような製造パラメータである。

【0023】プロセスの工程Bは「製造プロセスをエンジニアリング・パラメータ及び部品のパラメトリック幾何学的寸法（すなわち、マスタ・モデルの幾何学的パラメータ）に関係付ける製造解析手法を作成すること」ことであり、図4において「製造解析手法を作成」と記されたブロック212として示されている。製造解析手法又はプロセス能力モデルは、所要の出力の部品を入力する製造イネーブラー（下記の工程Cで定義される）に関係付ける製造プロセス及び／又はプロセス能力の数値表現として定義される。製造解析手法の例としては、シート金属形成プロセスのモデル、注入成形プロセスのモデル、鍛造プロセス・モデル、機械プレス作業、機械加工許容公差プロセス・モデル、組み立て許容モデルなどが挙げられる。シリアル収容箱では、一例の製造解析モデルは、好ましくは、箱の形状に切り出すためのプロセスである。この切断プロセスでは、解析には、まず標準の製造イネーブラー表から標準的な厚紙シート・サイズを選択し、次いでカッタ速度をシート寸法及びシート材質に関係付けて、厚紙が切断されるか破けるかどうかの推定を行うことが含まれ得る。破ける場合には、好ましくは、プロセス（カッタ速度）を変えるか、或いは箱又はカッタの刃の設計を変えることが必要である。

【0024】プロセスの工程Cは「コンピュータ支援設計（CAD）プログラムを使用して、部品の製造プロセス（製造イネーブラー・モデル）に関連する幾何学的パラメータで表した製造イネーブラーのパラメトリック幾何学的表現（すなわち、製造イネーブラー・モデル）を作成すること」であり、図4において「CADを使用して製造イネーブラー・モデルを作成」と記されたブロック213として示されている。製造イネーブラー・モデルは、コンピュータ支援設計ソフトウェア（その商業上入手可能なものは、例えば、ユニグラフィクス、ProE、IDEAS等である）内で使用可能なコンピュータ・モデル又は表現として定義され、このモデルにおいては、特定の部品についての製造プロセスに特有のハードウェア構成部品が特徴部（孔、線、曲線、面取り、ブレンド、半径など）及び該特徴部に関連する寸法パラメータ（これらは所与の時点において特定の数値を持つ）の

項目で記述される。例として挙げると、ツーリング・モデル、取付け具モデル、注入成形モデルなどがある。シリアル収容箱の例では、ツーリング・モデルは、厚紙のシートから箱のテンプレートを切断するために使用される全てのエンド・フラップを含めた、箱の折り曲げられない且つ接着されない形状部を表す厚紙カッタ数学的モデルである。別の例は、箱を作る折曲げ作業の前に折り曲げ部を予め作成するために使用するのが好ましいプレス・ツーリングである。

【0025】プロセスの工程Dは「製造イネーブラー・モデルをコンピュータ媒体に記憶させること」ことであり、図4において「製造イネーブラー・モデルを媒体に記憶」と記されたブロック214として示されている。

【0026】プロセスの工程Eは「製造基準がコンピュータ・コード入力になるように、製造解析手法を設計スプレッドシート（すなわち、コンピュータ・コード）に取り入れること」ことであり、図4において「製造法を設計スプレッドシートに取り入れ」と記されたブロック215として示されている。一旦、製造解析手法及びその関連する製造イネーブラー・モデルが定められると、製造解析手法の数値表現が設計スプレッドシート（すなわち、コンピュータ・コード）にプログラミングされる。これは設計解析手法に付け加えられるので、顧客の要求条件を満足させると共に工場の製造能力についての要求条件も満足させる部品を設計する能力を持つスプレッドシートが得られる。設計解析手法の場合と同様に、これは同じ構成形状の全ての部品に対して普遍性があり、多数の部品について再使用可能である。例えば、シリアル収容箱スプレッドシート設計ツールは、全てのサイズのシリアル収容箱を設計し、更に製作可能でない箱の設計を防止するために使用することが出来る。簡単な例は、エンジニアリング基準の全てを満たしているが、設計された箱を作るのに十分な大きさの標準的な厚紙シートが入手できないような、大きな箱の設計である。

【0027】ここで、基本的なプロセス手法に戻って、プロセスの追加の工程について以下に説明する。

【0028】プロセスの工程8は「設計スプレッドシート（すなわち、コンピュータ・コード）をデジタル・コンピュータで実行する」ことであり、図5において「設計スプレッドシートを実行」と記されたブロック8として示されている。解析手法を設定して、それらをコンピュータ媒体に記憶されている設計スプレッドシートにプログラミングした後、パラメトリック部品を設計するプロセスは、デジタル・コンピュータで設計スプレッドシートを実行することによって開始することが出来る。

【0029】プロセスの工程9は「設計技師が設計入力をエンターする」ことであり、図5において「設計入力をエンター」と記されたブロック9として示されている。設計技師は、所要の設計入力、すなわちエンジニア

リング・パラメータ、顧客要求条件パラメータ及び製造基準（適用される場合は、部品を製作するために使用されるモールドの最小の所要厚さなど）の特定の値をコンピュータ・コードにエンターする。設計技師はまた、適用される場合は、アウトライン2で考察するスプレッドシートの実施態様で説明するようにオーバーライドする幾何学的値をエンターする。

【0030】プロセスの工程10は「設計に関して設計スプレッドシート（すなわち、コンピュータ・コード）が反復する」ことであり、図5において「設計スプレッドシートの反復」と記されたブロック10として示されている。設計スプレッドシートはアウトライン2で説明されているように数値論理を実行し、（反復的コンピュータ・コードである場合）その解について反復する。当てはまる場合、反復のプロセスは、設計技師に付加的な入力を要求し又は設計技師が選択した計算された値をオーバーライドしてその中に含まれている幾何学的値についての解に関して反復し続けることが出来るようにしてもよいし、そうしなくてもよい。

【0031】プロセスの工程11は「設計スプレッドシート（すなわち、コンピュータ・コード）がマスタ・モデルの幾何学的パラメータの特定の値を出力する」ことであり、図5において「幾何学的パラメータを出力」と記されたブロック11として示されている。設計スプレッドシートが設計している部品についての数値に関する実行を完了したとき、部品についての幾何学的パラメータの特定の出力値が設計技師に対して表示され、次いで、随意選択により、マスタ・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値を使用して部品を製作することが出来る。

【0032】プロセスの工程12「設計スプレッドシート（すなわち、コンピュータ・コード）が製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの特定の値を出力する」ことであり、図5において「製造イネーブラー・モデル幾何学的パラメータを出力」と記されたブロック12として示されている。設計スプレッドシートが上記の工程A-Eで述べた製造手法を含んでいる場合、設計スプレッドシートが設計している部品についての数値に関する実行を完了したとき、製造イネーブラー・モデルについての幾何学的パラメータの特定の出力値が設計技師に対して表示される。更に、設計スプレッドシートが製造プロセス・シートのような任意の非CAD製造イネーブラーを生じる場合、それらもまたこの時点で表示される。随意選択により、製造イネーブラー・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値を使用するマスタ・モデルの幾何学的パラメータの出力された特定の値を使用して、部品を製作することが出来る。

【0033】プロセスの工程13は「幾何学的パラメータの特定の値でマスタ・モデルを更新する」ことであり、図5において「マスタ・モデルを更新」と記された

ブロック13として示されている。随意選択により、設計技師によって検討した後、部品について設計スプレッドシートによって出力された幾何学的パラメータは、マスタ・モデルにおけるパラメトリック寸法を更新するために使用される。一動作モードにおいては、設計スプレッドシートは、内部数値論理を介して、マスタ・モデルを直接的に更新する。この更新方法を提供する商業上入手可能なソフトウェアの例としては、ユニグラフィクス及びその関連するXESSスプレッドシート環境が挙げられる。

【0034】プロセスの工程14は「製造イネーブラー・モデルを更新する」ことであり、図5において「製造イネーブラー・モデルを更新」と記されたブロック14として示されている。随意選択により、設計スプレッドシートが上記の工程A-Eで述べた製造手法を含んでいる場合、設計技師によって検討した後、製造イネーブラー・モデルについて設計スプレッドシートによって出力された幾何学的パラメータが、製造イネーブラー・モデルのパラメトリック寸法を更新するために使用される。一動作モードにおいては、設計スプレッドシートは、内部数値論理を介して、製造イネーブラー・モデルを直接的に更新する。この更新方法を提供する商業上入手可能なソフトウェアの例としては、ユニグラフィクス及びその関連するXESSスプレッドシート環境が挙げられる。

【0035】プロセスの下記の工程（工程15-17）は部品の実際の製作に関係し、随意選択の工程である。

【0036】プロセスの工程15は「製造のために設計を転送する」ことであり、図6において「設計を転送」と記されたブロック15として示されている。上記の工程1-14で開発された製造物品は製造のために転送することが出来る。

【0037】プロセスの工程16は「必要な場合に製造解析を実行する」ことであり、図6において「製造解析を実行」と記されたブロック16として示されている。設計スプレッドシートが上記の工程A-Eで述べた製造手法を含んでいる場合、この工程は実行されない。

【0038】プロセスの工程17は「部品を製作する」ことであり、図6において「部品を製作」と記されたブロック17として示されている。

【0039】以下の記載は、アウトライン2と呼ぶもので、設計スプレッドシート論理の開発における工程を示す。

【0040】下記のアウトラインは、設計スプレッドシートを開発するために使用される基本的な論理を検討する。使用する用語「スプレッドシート」には任意の形式のプログラミング可能なコンピュータ・ソフトウェアが含まれることを留意することが大切である。限定ではなく例としては、エクセル(Excel)、XESS、FORTRAN、C、C++、MOTIF、JAVA、COR

BAなどが挙げられる。プログラムの一例は、コンピュータ支援設計(CAD)プログラムと設計スプレッドシートとの間の内部に設けられているリンクが含まれているものである。この一例は、ユニグラフィクスCADプログラム及びXESSスプレッドシート・プログラムである。本実施態様の本質的な特徴は、コンピュータ・プログラムを提供することであり、該プログラムの主要な機能は、マスタ・モデルをレバーレージング(Leveraging)し、次いで(A)エンジニアリング・パラメータ、顧客要求条件及び随意選択の製造基準を入力し、(B)数値解析アルゴリズムを採用し、そして(C)部品の幾何学的寸法を出力することにより、部品を設計することである。

【0041】この実施態様は、ジオメトリが、設定されて次いで反復的に定められる「推測された」寸法である従来の設計手法より優れている。設計スプレッドシートの開発は、アウトライン1の工程2に述べられているような特徴部に基づいたマスタ・モデルが存在すると仮定している。更に、上記の工程Cに述べられているような1つ以上の製造イネーブラー・モデルがあってもよいし、なくてもよい。

【0042】設計スプレッドシート論理は、実行すべき下記の工程(図7に示されている)を規定する。

【0043】プロセスの工程Iは「入力を規定する」ことであり、図7において「入力を規定」と記されたブロック301として示されている。設計スプレッドシートの1つの必要とされる機能は、設計技師がエンジニアリング・パラメータ及び顧客要求条件を入力することが出来るようにすることである。ここで、これらのパラメータは設計解析手法全体を通じて部品のパラメトリック(幾何学的)寸法に関係付けられることに留意されたい。パラメトリック(幾何学的)部品は最初は何らかのデフォルトの寸法の組を持つので、設計スプレッドシートもまた一貫した一組の初期デフォルト入力値を持つことが推奨される。これらの設計スプレッドシート・デフォルト値はデフォルト部品寸法に対応する必要はない。設計スプレッドシートは、次の種類の入力、すなわち(A)エンジニアリング・パラメータ、(B)顧客要求条件及び(C)製造基準(随意選択)を規定する。

【0044】プロセスの工程IIは「初期寸法推定値を決定するための解析を実行する」ことであり、図7において「初期寸法のための解析を実行」と記されたブロック302として示されている。設計スプレッドシートは、部品についてのパラメトリック寸法の初期推定値を設定するための簡単な解析を実行する。ここで使用される簡単な解析は、単に部品の寸法を定めることであり、部品を設計するために使用される反復的設計手順のための初期推定値を提供する。

【0045】プロセスの工程IIIは「部品の現寸法を

初期推定値に設定する」ことであり、図7において「寸法を初期推定値に設定」と記されたブロック303として示されている。この工程は、反復のプロセスのための基準工程を構成する。

【0046】プロセスの工程IVは「希望により設計技師が現寸法をオーバーライド出来るようにする」ことであり、図7において「寸法をオーバーライド可能にする」と記されたブロック304として示されている。設計プロセスの重要な要素は、設計者がモデルにアクセスして計算された値をオーバーライドすることが出来るようにすることである。これは、一般的なツールが考慮していない状況を取り扱う特別なやり方で設計技師が設計を行えるようにする能力を提供する。例えば、顧客はある寸法を固定した値にするという普通でない要求条件を持つことがある。この入力領域の別の使い方は、工程Vの詳細なエンジニアリング解析中に開発している設計に周期的にアクセスする能力を設計技師に与えることである。これは、設計スプレッドシートを使用する際の融通性をより大きくする。

【0047】プロセスの工程Vは「詳しいエンジニアリング解析を実行する」ことであり、図7において「エンジニアリング解析を実行」と記されたブロック305として示されている。設計スプレッドシートは、パラメトリック・マスタ・モデルのために開発された設計解析手法の解析的表現を実行するようにプログラミングされる。この解析は、典型的には反復の手順となるものの基本を形成する。けれども、場合によっては、それは工程IV乃至VIIを含む唯一のパスを必要とすることがある。

【0048】プロセスの工程VIは「結果を顧客要求条件と比較する」ことであり、図7において「顧客要求条件と比較」と記されたブロック306として示されている。設計スプレッドシートは、顧客要求条件の全てを満足しているかどうか評価する為の判定を実行する。

(A)顧客要求条件を満足している場合、工程VIIへ進む。

(B)顧客要求条件を満足していない場合、

1) 現寸法を更新する。設計についての収斂する基準が満足されなかった場合に部品の寸法を更新するための手法は、この点で設計スプレッドシートのプログラムに含まれる。これを行う為の解析手法は、設計解析手法の開発の際に決定される。

2) 工程IIIに続く工程に戻る。

【0049】プロセスの工程VIIは「製造解析手法が含まれている場合、製造解析を実行し、その他の場合は工程IXへ進む」ことであり、図7において「製造解析を実行」と記されたブロック307として示されている。設計スプレッドシートが製造解析手法を含んでいる場合、製造解析の解析表現がこの点で開発されてプログラミングされる。



【0050】プロセスの工程V I I Iは「結果を製造要求条件と比較する」ことであり、図7において「製造要求条件と比較」と記されたブロック308として示されている。

(A) 要求条件を満足している場合、工程I Xへ進む。

(B) 要求条件を満足していない場合、適切に現部品寸法、製造イネーブラー、又はプロセス制御を解析により更新する。設計についての収斂する基準が製造の観点から満足されなかった場合に解析を更新するための手法は、この点で設計スプレッドシートのプログラムに含まれる。これを行う為の解析手法は、製造解析手法の開発の際に決定される。この更新と工程V I (B) 1) における更新との間の重要な差は、この場合に部品のジオメトリイ、製造イネーブラーのジオメトリイ及び製造入力基準のうちの1つ又は組合せが更新されることである。

(C) 適切に工程I V又はV Iに戻る。

【0051】プロセスの工程I Xは「マスタ・モデルのためのパラメトリック幾何学的部品寸法を出力する」ことであり、図7において「マスタ・モデルのための寸法を出力」と記されたブロック309として示されている。

(A) 手法の一例では、CADモデルが設計スプレッドシートによって直接的に更新される。

【0052】プロセスの工程Xは「製造解析手法が含まれている場合、製造イネーブラー・モデルのためのパラメトリック幾何学的寸法を出力する」ことであり、図7において「製造イネーブラー・モデルのための寸法を出力」と記されたブロック310として示されている。

(A) 手法の一例では、CADモデルが設計スプレッドシートによって直接的に更新される。

【0053】本発明から幾つかの利益及び利点が得られる。公称幾何学的パラメータの代わりに所望のエンジニアリング・パラメータを入力として使用することにより、エンジニアリング設計時間が短縮される。製造可能性を要因として設計プロセスに取り入れることは、製造担当者が生産可能性のために所与のデザインを検討し及び/又は解析する必要のないことを意味する。要因として顧客の要求条件を取り入れることは、製造される部品の品質が顧客の期待を満足させることを保証し、これは製造側にとっては保証作業を低減し且つ顧客側にとっては潜在的なダウンタイムを低減する。

【0054】プロセスの工程を実施する順序は、論理的に実行可能なら、当業者の理解内にあるように、変え得ることが理解されよう。限定ではなく例として挙げれば、図2の「製造プログラムを作成」と記されたブロック210は、「設計プログラムを作成」と記されたブロック200より前に置くことが出来る。また、工程I V-V I I Iは、当業者に理解できるように、任意の論理的順序で実行することが出来る。さらに、前に述べたよ

うに又当業者に評価できるように、ある特定の工程は随意選択の工程である。出願人は、ガスタービン燃焼器用の旋回器を設計するために本発明を使用した。プロセスのモデリング及びプログラムを行った後(これは160人・時のルーチン・ワークを必要とした)、設計プロセスを行うことにより、エンジニアリング・パラメータ入力に多数の変化を考慮した許容可能な設計に達するのに約2人・時がかかった。これは、ジオメトリイ変数にほんの少数の変化だけを考慮した許容可能な設計に達するのに典型的に約16人・時がかかる、ガスタービン燃焼器用の旋回器を設計するための従来の設計プロセスを実行することに匹敵する。設計スプレッドシートは、ユニグラフィクスにおいてXESSスプレッドシート環境で約1000セルを使用した。出願人は、本発明のプロセスから生じる設計が、従来のジオメトリイ変数の少数の変化の代わりにエンジニアリング・パラメータ入力の多数の変化を考慮するので、従来のものの設計よりも優れていると信じる。また、本発明のプロセスの別の強みは、モデリングされプログラミングされたプロセスを再使用することにより特別な部品の他の設計が作成されることである。例えば、本発明では、最初の100個の旋回器の設計に360人・時かかる(各々の付加的な設計に約2時間かかる)。これは、従来の設計プロセスを使用した1600人・時に匹敵する。

【0055】本発明のプロセスは、部品を設計することができ、また部品を製作するためのモールドを設計することができ、また部品を製作するためのモールドを作るために使用されるツールを設計することができるという風になるので、反復的であることに注意されたい。

【0056】従って、本発明は製造物品を設計するためのプロセスとして、又は製造物品を設計し製作するためのプロセスとして表されることがわかる。代替的には、本発明は、上述したプロセスの工程を実行するようにデジタル・コンピュータ140に命令する、製造物品のエンジニアリング設計(又はエンジニアリング設計及び製作)用のプログラムを含んでいるデジタル・コンピュータ140として表される。また、代替的に、本発明は、上述したプロセスの工程を実行するようにデジタル・コンピュータ140に命令する、製造物品のエンジニアリング設計(又はエンジニアリング設計及び製作)用のデジタル・コンピュータ140によって読出し可能なプロセスを含んでいる媒体200として表される。

【0057】以上の本発明の幾つかの実施態様についての説明は例示の目的で提示したものである。開示した形態が厳密に本発明を表すものでもなく、また本発明をそれに制限するものでもなく、上記の説明から種々の変形及び変更をなし得ることは明らかである。本発明の範囲は、特許請求の範囲によって定められるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】製造物品を設計し製作するための本発明の方法

17

を実現する装置／プロセス混成のブロック図である。

【図2】図1の個別のブロック100を展開したブロック図である。

【図3】図2の個別のブロック200を展開したブロック図である。

【図4】図2の個別のブロック210を展開したブロック図である。

\*

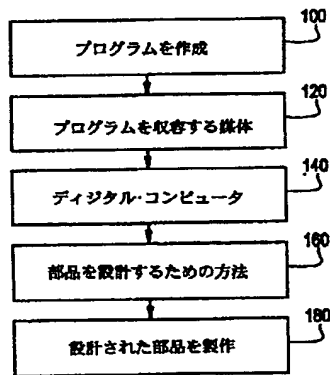
18

\*【図5】図1の個別のブロック160を展開したブロック図である。

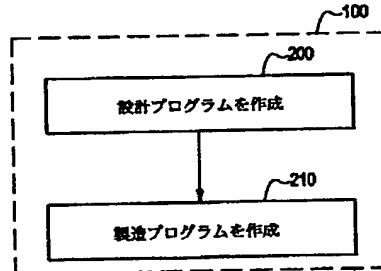
【図6】図1の個別のブロック180を展開したブロック図である。

【図7】図3のブロックで実行するために設けられる工程のブロック図である。

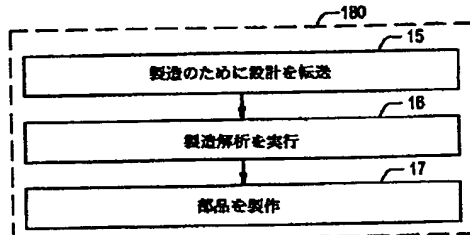
【図1】



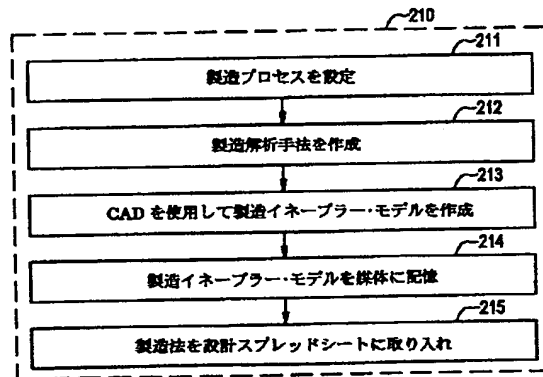
【図2】



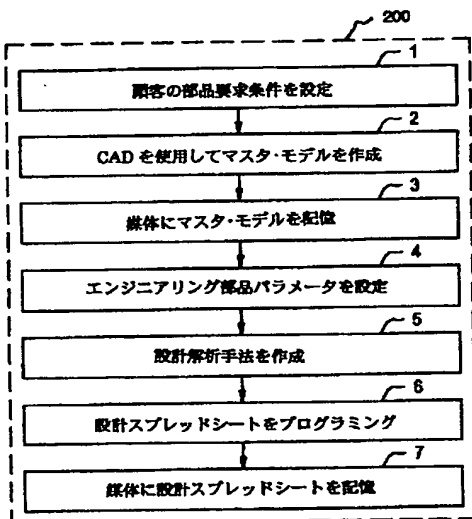
【図6】



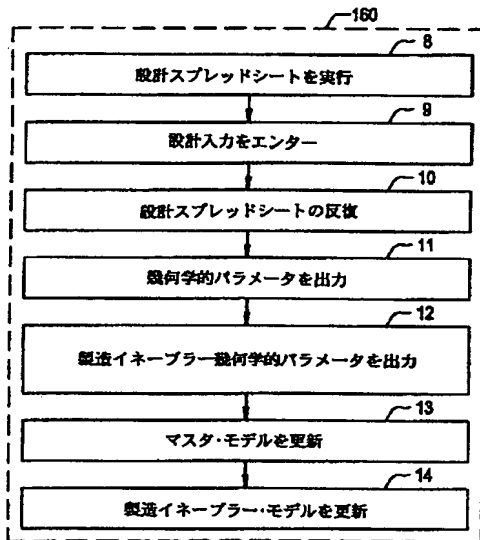
【図4】



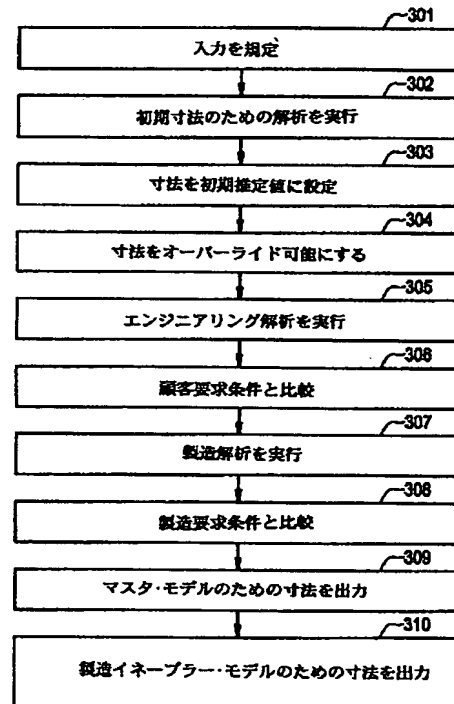
【図3】



【図5】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 ジェフリー・デイヴィッド・アーノ  
アメリカ合衆国、カリフォルニア州、ハン  
ティングトン・ビーチ、ケイブコーラル・  
レーン・ナンバー219、20191番

(72)発明者 バイロン・アンドリュー・ブリッチャード  
アメリカ合衆国、オハイオ州、ラブラン  
ド、ビーチ・ロード、324番

(72)発明者 リチャード・ウェイド・スティックルス  
アメリカ合衆国、オハイオ州、ラブラン  
ド、カーペンター・ロード、819番

Fターム(参考) 5B046 AA05 BA08 DA02 JA07

## 【外国語明細書】

## 1. Title of Invention

Method For Designing An Article Of Manufacture

## 2. Claims

1. A method for designing an article of manufacture comprising the steps of:

a) defining one or more customer requirement parameters for the article of manufacture;

b) creating a parametric geometrical representation of the article of manufacture in terms of geometric parameters using a computer aided design program, the parametric geometrical representation of the article of manufacture defining a master model;

c) storing the master model on a computer medium;

d) choosing one or more engineering parameters relating to the customer requirement parameters;

e) creating a design analysis methodology that relates the master model to the engineering parameters and the customer requirement parameters;

f) programming the design analysis methodology into a computer code such that the engineering parameters and customer requirement parameters are program inputs and the geometric parameters of the master model are program outputs;

g) storing the computer code on the computer medium;

h) inputting specific values of the engineering parameters and the customer requirement parameters into the computer code; and

i) running the computer code on a digital computer and outputting therefrom specific values of the geometric parameters of the master model.

2. The method of claim 1, also for making the article of manufacture, and also including the step of making the article of manufacture having the outputted specific values of the geometric parameters of the master model obtained from step i).

3. The method of claim 1, wherein step f) includes programming the design analysis methodology into an iterative computer code and wherein step i) includes the step of iteratively running the computer code.

4. The method of claim 3, wherein step f) includes programming the design analysis methodology into an iterative computer code such that in step i) one or more of the outputted specific values of the geometric parameters of the master model are manually overridable after which the computer code continues iteratively rerunning and outputting therefrom other specific values for the geometric parameters of the master model while keeping the manually overridden values.

5. The method of claim 1, also for designing a manufacturing process for making the article of manufacture, and also including the steps of:

j) choosing a manufacturing process including manufacturing criteria and one or more manufacturing enablers to make the article of manufacture;

k) creating a manufacturing analysis methodology that relates the manufacturing process to the engineering parameters and the geometric parameters of the master model;

l) creating a parametric geometrical representation of the manufacturing enablers in terms of geometric parameters using a computer aided design program, the parametric geometrical

representation of the manufacturing enablers defining a manufacturing enabler model;

m) storing the manufacturing enabler model on the computer medium;

n) incorporating the manufacturing analysis methodology into the computer code such that the manufacturing criteria are computer code inputs; and

o) inputting specific values of the manufacturing criteria into the computer code; and

wherein step i) also includes outputting from the computer code specific values of the geometric parameters of the manufacturing enabler model.

6. The method of claim 5, also for making the article of manufacture, and also including the step of making the article of manufacture having the outputted specific values of the geometric parameters of the master model obtained from step i) by using the manufacturing process chosen in step j) with the outputted specific values of the geometric parameters of the manufacturing enabler model also obtained from step i).

7. The method of claim 5, wherein step f) includes programming the design analysis methodology into an iterative computer code and wherein step i) includes the step of iteratively running the computer code.

8. The method of claim 7, wherein step n) includes incorporating the manufacturing analysis methodology into the iterative computer code such that in step i) one or more of the outputted specific

values of the geometric parameters of the manufacturing enabler model are manually overridable after which the computer code continues iteratively rerunning and outputting therefrom other specific values of the geometric parameters of the manufacturing enabler model while keeping the manually overridden values of the geometric parameters of the manufacturing enabler model.

9. The method of claim 8, wherein step f) includes programming the design analysis methodology into an iterative computer code such that in step i) one or more of the outputted specific values of the geometric parameters of the master model are manually overridable after which the computer code continues iteratively rerunning and outputting therefrom other specific values for the geometric parameters of the master model while keeping the manually overridden values of the geometric parameters of the master model.

10. The method of claim 9, also for making the article of manufacture, and also including the step of making the article of manufacture having the outputted specific values of the geometric parameters of the master model obtained from step i) by using the manufacturing process chosen in step j) with the outputted specific values of the geometric parameters of the manufacturing enabler model also obtained from step i).

### 3. Detailed Description of Invention

#### FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates generally to engineering computer design tools, and more particularly to a process, a digital computer, and a medium readable by a digital computer for the engineering design, and optionally the making, of an article of manufacture.

#### BACKGROUND OF THE INVENTION

Known methodologies for the engineering design of parts (i.e., articles of manufacture) have included the use of computer spreadsheets programmed with a mathematical geometric model of the article which allows the design engineer to vary one or more geometric variables, with the spreadsheet calculating the values of the other geometric variables within desired constraints. In some instances the mathematical geometric model of the article is represented as a parametric geometry model. Such models are typically developed, using commercially available Computer Aided Design (CAD) programs. Examples of such programs include Unigraphics, PRO-Engineer, IDEAS, etc.

Typically, the design engineer develops an initial geometric description of the article, assigns values to the dimensions and runs a separate mathematical engineering analysis, using such initial geometry values, to determine the engineering aspects of the design. The design engineer then varies certain geometric variables



and reruns the mathematical engineering analysis. This is repeated until acceptable values for the engineering aspects of the design are reached. The final geometry of the design is checked against customer requirements, such as life cycle requirements. Then, the design engineer forwards the design to manufacturing personnel who perform an analysis to determine if the article can be manufactured and then either return the design to the design engineer for modification or proceed to develop the manufacturing process and actually make the part.

What is needed is a more efficient modality for designing and making an article of manufacture.

#### SUMMARY OF THE INVENTION

The method of the invention for designing an article of manufacture includes steps a) through i). Step a) includes defining one or more customer requirement parameters. Step b) includes creating a parametric geometrical representation of the article of manufacture (i.e., a master model) in terms of geometric parameters using a computer aided design program. Step c) includes storing the master model on a computer medium. Step d) includes choosing one or more engineering parameters relating to the customer requirement parameters. Step e) includes creating a design analysis methodology that relates the master model to the engineering parameters and the customer requirement parameters. Step f) includes programming the design analysis methodology into a computer code such that the engineering parameters and customer requirement parameters are program inputs and the geometric parameters of the master model are program outputs. Step g) includes storing the computer code on the computer medium. Step h) includes inputting specific values of the engineering parameters and the customer requirement parameters into the computer code. Step i) includes running the computer code on a

digital computer and outputting therefrom specific values of the geometric parameters of the master model.

In one implementation, the method is also for designing a manufacturing process for making the article of manufacture and includes steps j) through o). Step j) includes choosing a manufacturing process including manufacturing criteria and one or more manufacturing enablers to make the article of manufacture. Step k) includes creating a manufacturing analysis methodology that relates the manufacturing process to the engineering parameters and the geometric parameters of the master model. Step l) includes creating a parametric geometrical representation of the manufacturing enablers in terms of geometric parameters using a computer aided design program, the parametric geometrical representation of the manufacturing enablers defining a manufacturing enabler model. Step m) includes storing the manufacturing enabler model on the computer medium. Step n) includes incorporating the manufacturing analysis methodology into the computer code such that the manufacturing criteria are computer code inputs. Step o) includes inputting specific values of the manufacturing criteria into the computer code. In this implementation, step i) also includes outputting from the computer code specific values of the geometric parameters of the manufacturing enabler model.

In another implementation, the computer code is an iterative computer code, and the outputted specific values of the geometric parameters of the master model and/or the manufacturing enabler model may be manually overridden after which the computer code continues to iteratively rerun and output other specific values while keeping the manually overridden values.

In an additional implementation, the method is also for making the article of manufacture and includes the step of making the article of manufacture having the outputted specific values of the

geometric parameters of the master model obtained from step i) with the outputted specific values of the geometric parameters of the manufacturing enabler model also obtained from step i).

Several benefits and advantages are derived from the invention. Using desired engineering parameters as inputs, instead of nominal geometric parameters, shortens the engineering design time. Factoring the manufacturability into the design process means that the manufacturing personnel will not have to review and/or analyze a given design for producibility. This shortens the overall time to design and make the part. Factoring in customer requirements ensures that the quality of the parts produced meets the customer expectations which reduces warranty work on the manufacture's part and reduces potential downtime on the customer's part. Allowing for manually overriding the outputted specific values from the compute code of the geometric parameters of the master model and/or manufacturing enabler model provides for rapid design and manufacture of different specific articles within the same type of article (or same type manufacturing process) wherein different specific articles (or different specific manufacturing processes) have different hard constraints on one or more of their geometric parameters, as can be appreciated by those skilled in the art.

**DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION**

The present invention can be expressed as a process, a digital computer, or a medium readable by a digital computer for the engineering design, and optionally the making, of an article of manufacture. Such articles or parts can range from the simple to the complex, and include, without limitation, a bolt or a gas-turbine combustor.

An organization of the overall invention is shown in the hybrid apparatus/process block diagram of Figure 1. Block 100 is entitled "Create Program", such program being stored in block 120 which is entitled "Medium Containing Program". Such medium is readable by a digital computer. A medium is a computer hard disk. Other such mediums include, without limitation, floppy disks and CD-RW disks. Block 120 is read by block 140 which is entitled "Digital Computer". The choice of the digital computer is left to the artisan. However, one choice of a digital computer is a Hewlett Packard 9000/C110 running an HPUX operating system. The program on the medium causes the digital computer to execute block 160 which is entitled "Method for Designing Part". Information which defines the designed part is sent to block 180 which is entitled "Make Designed Part". The contents of blocks 100, 160, and 180 will be further explained below.

Block 100 is shown in more detail in the process flow chart of Figure 2. Block 100 includes block 200 entitled "Create Design

Program" followed by block 210 entitled "Create Manufacturing Program". Block 200 is shown in greater detail in Figure 3 as including blocks 1 through 7 as hereinafter defined which correspond to process steps 1-7 as hereinafter explained. Block 210 is shown in greater detail in Figure 4 as including blocks 211 through 215 as hereinafter defined which correspond to process steps A-E as hereinafter explained. Block 160 is shown in greater detail in Figure 5 as including blocks 8-14 as hereinafter defined which correspond to process steps 8-14 as hereinafter explained. Block 180 is shown in greater detail in Figure 6 as including blocks 15-17 as hereinafter defined which correspond to process steps 15-17 as hereinafter explained. It is noted that block 6 provides for the performance of the steps shown in Figure 7 as including blocks 301-310 as hereinafter defined which correspond to process steps I-X (Roman Numerals) as hereinafter explained.

The following, which is referred to as Outline 1, describes the steps in the process.

"Establish (i.e., define) the customer requirement parameters for the part" is step 1 in the process and is shown in Figure 3 as block 1 entitled "Establish Customer Part Requirements". Customer requirements are defined as specific values or constraints of the customer requirement parameters on the overall performance of a part which the part is expected to meet. Examples include, but are not limited to, maximum weight, minimum life, minimum reliability, minimum strength, durability, minimum environmental operating conditions, conformance to a standard, cost, etc. As an example consider a common cereal box. Here the customer (a cereal manufacturer) might want a box with minimum cost, capable of holding X ounces of their product, with a minimum strength which allows for 10 filled boxes to be stacked without crushing the bottom box.

"Create a parametric geometrical representation of the part (Master Model) using a Computer Aided Design (CAD) program" is

step 2 in the process and is shown in Figure 3 as block 2 entitled "Create Master Model Using CAD". A Master Model (i.e., a parametric representation of a part) is defined as a computer model/representation usable within a Computer Aided Design Software, (commercially available examples of which are Unigraphics, ProE, IDEAS, etc.) in which part geometry is described in terms of features (holes, lines, curves, chamfers, blends, radii, etc.) and dimensional parameters associated with these features which at any given time take on specific numerical values. This representation of a part is often referred to as a rubber band part because all its dimensions are flexible. For the cereal box example, the box is described by its length, width, height, and thickness of the cardboard all of which may vary. To understand the flexibility of this model, note that this also is a description of a mover's packing box.

"Store the Master Model on a computer medium" is step 3 in the process and is shown in Figure 3 as block 3 entitled "Store Master Model on Medium".

"Establish (i.e., choose) the engineering parameters relating to the successful design of the part (i.e., relating to the customer requirement parameters)" is step 4 in the process and is shown in Figure 3 as block 4 entitled "Establish Engineering Part Parameters". An engineering parameter is defined as a variable having a value or array of values used as the inputs to a design process whose goal is to establish the final parametric values of a part whose performance meets the customer input requirements. Examples include but are not limited to temperatures, pressures, material properties, number of instances of an item (as in the number of blades in a compressor row), pressure drops, etc. For the cereal box example this preferably is the material properties of the cardboard, density of the product, etc.

"Create a design analysis methodology that relates the parametric geometrical representation of the part (i.e., the master model) to the engineering parameters and customer requirement parameters" is step 5 in the process and is shown in Figure 3 as block 5 entitled "Create Design Analysis Methodology". The design analysis methodology is defined as the sequence of engineering analyses that are performed to determine if the part meets the desired customer specified functional requirements. While this analysis is specific to the part being designed, it is also general enough in nature that it allows the various part dimensions to be altered as needed. For a given part this preferably includes any and all combinations of analytically derived results, results of analysis from Commercial Off-The-Shelf Software, response surfaces from a Design of Experiments, a company proprietary empirical procedure, a company standard design practice, text book procedures, etc. in an appropriate order. For the cereal box this preferably, without limitation, is a series of computations such as 1) compute the required volume based on product density, 2) select the main dimensions to obtain the volume based a company procedure for esthetic box sizes, 3) compute the critical crushing parameters based on thickness, dimensions, and material properties, 4) compute cost based on empirical model relating surface area to cost. The design analysis methodology includes steps to compare results to desired requirements, to adjust dimensions accordingly, and to iterate, as can be appreciated by the artisan.

"Program the design analysis methodology into a Design Spreadsheet (i.e., a computer code which is a computer spreadsheet program or other non-spreadsheet computer program for a digital computer) in such a way that the engineering parameters and customer requirement parameters are the inputs and the geometric dimensions are the outputs (details of the suggested methodology for this step are provided in Outline 2)" is step 6 in the process and is shown in Figure 3

as block 6 entitled "Program Into Design Spreadsheet". Once the design analysis methodology is defined, it is programmed into a computer code (i.e., a spreadsheet or other suitable computer program) for use by the design engineer. Since it is general in nature to all parts of the same configuration and requirements, it is reusable for multiple parts. For example a good cereal box spreadsheet design tool preferably is used to design all sizes of cereal boxes. Complete details of how this is done including the methodology are provided in Outline 2 as hereinafter explained. An example of the Design Spreadsheet is the XESS spreadsheet environment in Unigraphics which is available from the EDS Unigraphics Division of the Electronics Data Systems Corporation.

"Store the Design Spreadsheet (i.e., computer code) on the medium" is step 7 in the process and is shown in Figure 3 as block 7 entitled "Store Design Spreadsheet On Medium".

The Following Steps (A-E) in the Process Are For an optional Methodology and are not required for the basic design process.

"Establish (i.e., choose) the manufacturing process including manufacturing criteria and one or more manufacturing enablers that will be used to make the part" is step A in the process and is shown in Figure 4 as block 211 entitled "Establish Manufacturing Process". Once the article of manufacture has been defined it is possible to establish the manufacturing process that will be used to make the part. The process generally consists of a number of steps in which the raw material, for example a sheet of cardboard stock, is converted into the final part, a cereal box. For the cereal box some of the steps might include cutting out the shape of the box with its flaps from a flat sheet of cardboard, applying the packaging design to one side, stamping the sheet to pre-crease the fold locations, folding, gluing, etc. In general terms, a manufacturing enabler is a



representation of a manufacturing process input or an input component of the manufacturing process that is consistent with a specific instance of a designed part. Examples include, process sheets to produce the component, drafting drawings, parametric master models for the tooling (Tooling Model), parametric master models for fixtures (Fixture Model), parametric master models for casting geometry associated with a component (Casting Model), input data for NC machinery, tables of standard available stock sizes, etc. Manufacturing criteria are manufacturing parameters such as wall thickness of a mold used to make the part.

"Create a manufacturing analysis methodology that relates the manufacturing process to the engineering parameters and the parametric geometrical dimensions of the part (i.e., the geometric parameters of the master model)" is step B in the process and is shown in Figure 4 as block 212 entitled "Create Manufacturing Analysis Methodology". A manufacturing analysis methodology or process capability model is defined as a numerical representation of a manufacturing process and / or process capability that relates the required output part to the input manufacturing enablers (as defined in step C below). Examples of manufacturing analysis methodologies include models of sheet metal forming process, models of casting process, forging processes models, machine press operations, machining tolerance process models, assembly tolerancing models, etc. For the cereal box, an example manufacturing analysis model preferably is the process for cutting out the box shape. For this cutting process the analysis might include first selecting a standard cardboard sheet size from a manufacturing enabler table of standards and then relating the cutter speed to the sheet dimensions and sheet properties to produce an estimate of whether the cardboard cuts or tears, the later of which preferably requires some changes to either the process (cutter speed) or the design of either the box or the cutter blade.

"Create the parametric geometrical representation(s) of the manufacturing enabler(s) (i.e., a Manufacturing Enabler Model) in terms of geometric parameters associated with the manufacturing process for the part (Manufacturing Enabler Model) using a Computer Aided Design (CAD) program" is step C in the process and is shown in Figure 4 as block 213 entitled "Create Manufacturing Enabler Model Using CAD". A Manufacturing Enabler Model is defined as a computer model or representation usable within a Computer Aided Design Software, (commercially available examples of which are Unigraphics, ProE, IDEAS, etc.) in which a hardware component specific to the manufacturing process for the particular part is described in terms of features (holes, lines, curves, chamfers, blends, radii, etc.) and dimensional parameters associated with these features which at any given time take on specific numerical values. Examples included Tooling Models, Fixture Models, Casting Models, etc. For the cereal box example, a Tooling Model is the cardboard paper cutter mathematical model that represents the unfolded and unglued shape of the box, including all the end flaps that are used to cut the box template from a sheet of cardboard. Another example is the press tooling that preferably is used to pre-crease the folds prior to folding the box.

"Store the Manufacturing Enabler Model on a computer medium" is step D in the process and is shown in Figure 4 as block 214 entitled "Store Manufacturing Enabler Model On Medium".

"Incorporate the manufacturing analysis methodology into the Design Spreadsheet (i.e., computer code) such that the manufacturing criteria are computer code inputs" is step E in the process and is shown in Figure 4 as block 215 entitled "Incorporate Manufacturing Into Design Spreadsheet". Once the manufacturing analysis methodology and its associated Manufacturing Enabler Models are defined, the numerical representation of the manufacturing analysis methodology is programmed into the Design Spreadsheet (i.e.,

computer code). Since it is added to the design analysis methodology, it provides the spreadsheet with the ability to design parts which meet the customer requirements and which simultaneously meet the requirements of the manufacturing capability of the factory floor. Like the design analysis methodology, it is general in nature to all parts of the same configuration, and it is reusable for multiple parts. For example, the cereal box spreadsheet design tool is able to be used to design all sizes of cereal boxes and in addition prevents the design of boxes that can not be made. A simple example is the design of a large box which meets all the engineering criteria but for which there is no standard cardboard sheet available which is large enough to make the designed box.

Returning to the Basic Process Methodology, a description is given of additional steps in the process.

"Run the Design Spreadsheet (i.e., computer code) on the digital computer" is step 6 in the process and is shown in Figure 5 as block 8 entitled "Run Design Spreadsheet". Having established the analysis methodologies and programming them into a Design Spreadsheet stored on the computer medium, the process of designing the parametric part can be initiated by running the design spreadsheet on the digital computer.

"Design Engineer enters the design inputs" is step 9 in the process and is shown in Figure 5 as block 9 entitled "Enter Design Inputs". The design engineer then enters the required design inputs: the specific values of the engineering parameters, customer requirement parameters, and manufacturing criteria (if applicable, such as a minimum required thickness of a mold used to make the part). If applicable, the design engineer also enters overriding geometric values as described in the spreadsheet implementation discussed in Outline 2.

"The Design Spreadsheet (i.e., computer code) iterates on the design" is step 10 in the process and is shown in Figure 5 as

block 10 entitled "Design Spreadsheet Iterates". The Design Spreadsheet then executes the numerical logic as explained in Outline 2 and iterates (if it is an iterative computer code) on the solution. As appropriate, the iteration process may or may not query the design engineer for additional inputs or allow the design engineer to override select computed values before continuing to iterate on a solution for the geometric values contained within it.

"The Design Spreadsheet (i.e., computer code) outputs specific values of the master model geometric parameters" is step 11 in the process and is shown in Figure 5 as block 11 entitled "Output Geometric Parameters". When the Design Spreadsheet has completed the numerical execution for the part being designed, the output specific values of the geometric parameters for the part are displayed for the design engineer, and the part optionally can be made using the outputted specific values of the geometric parameters of the master model.

"The Design Spreadsheet (i.e., computer code) outputs specific values of the Manufacturing Enabler Model geometric parameters" is step 12 in the process and is shown in Figure 5 as block 12 entitled "Output Manufacturing Enabler Geometric Parameters". In the event the Design Spreadsheet contains the manufacturing methodology noted in Steps A-E above, then when the Design Spreadsheet has completed the numerical execution for the part being designed, the output specific values of the geometric parameters for the Manufacturing Enabler Model(s) are displayed for the design engineer. In addition, if the Design Spreadsheet produces any non-CAD manufacturing enablers, such as manufacturing process sheets, they are also displayed at this time. Optionally, the part can be made using the outputted specific values of the geometric parameters of the master model using the outputted specific values of the geometric parameters of the manufacturing enabler model.

"Update Master Model with the specific values of the geometric parameters" is step 13 in the process and is shown in Figure 5 as block 13 entitled "Update Master Model". Optionally, after review by the design engineer the geometric parameters output by the Design Spreadsheet for the part are used to update the parametric dimensions in the Master Model. In one mode of operation, the Design Spreadsheet, through internal numerical logic, updates the Master Model directly. Examples of commercially available software that provide this update method include Unigraphics and its associated XESS spreadsheet environment.

"Update Manufacturing Enabler Model(s) with specific values of their geometric parameters" is step 14 in the process and is shown in Figure 5 as block 14 entitled "Update Manufacturing Enabler Model(s)". Optionally, in the event the Design Spreadsheet (i.e., computer code) contains the manufacturing methodology noted in Steps A-E above, then after review by the design engineer the geometric parameters output by the Design Spreadsheet for the Manufacturing Enabler Model(s) are used to update the parametric dimensions of the Manufacturing Enabler Model(s). In one mode of operation, the Design Spreadsheet, through internal numerical logic updates the Manufacturing Enabler Model(s) directly. Examples of commercially available software that provide this update method include Unigraphics and its associated XESS spreadsheet environment.

The Following Steps (Steps 15-17) in the Process Relate to the Actual Making of the Part and are Optional.

"Forward design for manufacturing" is step 15 in the process and is shown in Figure 6 as block 15 entitled "Forward Design For Manufacturing". The article of manufacture developed in steps 1-14 above can be forwarded for manufacture.

"Perform manufacturing analysis if needed " is step 16 in the process and is shown in Figure 6 as block 16 entitled "Perform Manufacturing Analysis". If the Design Spreadsheet contains the manufacturing methodology noted in Steps A-E above, then this step typically is not performed.

"Make the part " is step 17 in the process and is shown in Figure 6 as block 17 entitled "Make Part".

The following, which is referred to as Outline 2, describes the steps in the Development of the Design Spreadsheet Logic.

The following outline discusses the basic logic used to develop the Design Spreadsheet. It is important to note that the use of the term spreadsheet includes any type of programmable computer software. Examples include, but are not limited to, EXCEL, XESS, FORTRAN, C, C++, MOTIF, JAVA, CORBA, etc. An example of a program is one in which there is an internally provided link between the Computer Aided Design (CAD) program and the Design Spreadsheet. An example of this is the Unigraphics CAD program and the XESS Spreadsheet program. The essential feature of the implementation is to provide a computer program whose main function is to design a part by leveraging a Master Model and then:

- A. Inputting Engineering Parameters, Customer Requirements, and optional Manufacturing Criteria,
- B. Employing a numerical analysis algorithm, and
- C. Outputting the Geometric Dimensions of the Part.

This implementation is superior to the classical design methodology in which the geometry is "guessed" dimensions which are set and then iterated. The development of the Design Spreadsheet assumes that there exists a feature-based Master Model as described in Step 2 of Outline 1. Additionally, there may or may not be one or

more Manufacturing Enabler Models as described in optional Step C above.

The Design Spreadsheet Logic provides for the following steps (shown in Figure 7) to be performed:

"Provide For Inputs" is step Roman Numeral I in the process and is shown in Figure 7 as block 301 entitled "Provide For Inputs". One required function of the Design Spreadsheet is to allow the design engineer to input the Engineering Parameters and Customer Requirements. It should be kept in mind that these parameters are related throughout the design analysis methodology to the part parametric (geometric) dimensions. Since the parametric (geometric) part will initially have some default set of dimensions, it is recommended that the Design Spreadsheet also have a consistent set of initial default values of the inputs. These Design Spreadsheet defaults do not have to correspond to the default part dimensions. The Design Spreadsheet provides for the following types of Inputs:

- A. Engineering Parameters,
- B. Customer Requirements, and
- C. Manufacturing Criteria (Optional).

"Perform Analysis to Determine Initial Estimates of Dimensions" is step Roman Numeral II in the process and is shown in Figure 7 as block 302 entitled "Perform Analysis For Initial Dimensions". The Design Spreadsheet performs a simple analysis to set the initial estimates of the parametric dimensions for the part. The simple analysis used here is simply to "size" the part and provide the initial estimates for the iterative design procedure used to design the part.

"Set current dimensions of the part to the initial estimates" is step Roman Numeral III in the process and is shown in Figure 7 as block Roman Numeral 303 entitled "Set Dimensions To Initial Estimates". This step provides a reference step for the iterative process.

"Allow design engineer to override current dimensions if desired" is step Roman Numeral IV in the process and is shown in Figure 7 as block 304 entitled "Allow For Dimension Override". A key element of any design process is to allow the designer access to the model to override any computed value. This provides the ability for the design engineer to drive the design in a particular way to handle circumstances for which the general tool does not take account. For example, a customer might have an unusual requirement that some dimension be a fixed value. Another use for this input area is to provide the design engineer the ability to periodically access the developing design during the detailed engineering analysis of step Roman Numeral V. This provides for greater flexibility in using the Design Spreadsheet.

"Perform detailed engineering analysis" is step Roman Numeral V in the process and is shown in Figure 7 as block 305 entitled "Perform Engineering Analysis". The Design Spreadsheet is programmed to perform the analytical representation of the design analysis methodology developed for the parametric Master Model. This analysis forms the basis of what is typically an iterative procedure, although in some instances it may require only one pass, involving steps Roman Numerals IV through VIII.

"Compare results to customer requirements" is step Roman Numeral VI in the process and is shown in Figure 7 as block 306 entitled "Compare to Customer Requirements". The Design Spreadsheet performs a determination to evaluate if all of the customer requirements have been met.

A. If requirements are met, go to step Roman Numeral VII.

B. If requirements are not met:

1. Update current dimensions. The methodology for updating the part dimensions in the event that the



convergence criteria for the design was not met is programmatically included in the Design Spreadsheet at this point. The analytic methodology for doing this is determined during the development of the design analysis methodology.

2. Return to the step following step Roman Numeral III.

"If the manufacturing analysis methodology is included, then perform manufacturing analysis, else go to step Roman Numeral IX" is step Roman Numeral VII in the process and is shown in Figure 7 as block 307 entitled "Perform Manufacturing Analysis". In the event that the Design Spreadsheet includes the manufacturing analysis methodology then the analytical representation of the manufacturing analysis methodology is developed and programmed at this point.

"Compare results to manufacturing requirements" is step Roman Numeral VIII in the process and is shown in Figure 7 as block 308 entitled "Compare to Manufacturing Requirements".

A. If the requirements are met, go to step IX.

B. If the requirements are not met, analytically update current part dimensions, manufacturing enabler dimension(s), or process controls as appropriate. The methodology for updating the analysis in the event that the convergence criteria for the design was not met from a manufacturing view point is programmably included in the Design Spreadsheet at this point. The analytic methodology for doing this is determined during the development of the manufacturing analysis methodology. A key difference between this update and the update in step VI.B.1. is that here any one or combination of the part geometry, the manufacturing enabler geometry, and the manufacturing input criteria are updated.

C. Return to Step Roman Numeral IV or VI as appropriate.

"Output parametric geometric part dimensions for the Master Model" is step Roman Numeral IX in the process and is shown in Figure 7 as block 309 entitled "Output Dimensions For Master Model".

A. An example of a methodology is one in which the CAD model is directly updated by the Design Spreadsheet.

"If the manufacturing analysis methodology is included, then output the parametric geometric dimensions for the Manufacturing Enabler Model(s)" is step Roman Numeral X in the process and is shown in Figure 7 as block 310 entitled "Output Dimensions for Manufacturing Enabler Model(s)".

A. An example of a methodology is one in which the CAD model is directly updated by the Design Spreadsheet.

Several benefits and advantages are derived from the invention. Using desired engineering parameters as inputs, instead of nominal geometric parameters, shortens the engineering design time. Factoring the manufacturability into the design process means that the manufacturing personnel will not have to review and/or analyze a given design for producibility. This shortens the overall time to design and make the part. Factoring in customer requirements ensures that the quality of the parts produced meets the customer expectations which reduces warranty work on the manufacture's part and reduces potential downtime on the customer's part.

It is understood that the order of performing the steps of the process may be varied, if logically feasible, as is within the understanding of those skilled in the art. For example, and without limitation, in Figure 2, block 210 entitled "Create Manufacturing Program" can come before block 200 entitled "Create Design Program". Also, steps IV - VIII can be performed in any logical order, as can be understood by the artisan. It is further understood that certain steps are optional, as previously described and as can be appreciated by the

artisan. Applicants have used the present invention to design swirlers for a gas turbine combustor. Once the modeling and programming of the process was done (which entailed about 160 person-hours of routine work), running the design process took about 2 person-hours to reach an acceptable design which considered numerous variations in the engineering parameter inputs. This compares to performing a conventional design process for designing swirlers for a gas turbine combustor which typically takes about 16 person-hours to reach an acceptable design which considered only a few variations in geometry variables. The Design Spreadsheet used about one thousand cells in an XESS spreadsheet environment in Unigraphics. Applicants believe the design resulting from the process of their invention is superior to a conventionally-derived design because they consider numerous variations in engineering parameter inputs instead of the conventional few variations in geometry variables. Also, another strength of the process of Applicants' invention comes with reusing the modeled and programmed process to yield other designs of the particular part. For example, with Applicants' invention, the first 100 swirler designs takes 360 person-hours (with each additional design taking about 2 hours). This compares to 1600 person-hours using a conventional design process.

It should be noted that the process of the invention is recursive in that the process is capable of designing a part, of also designing a mold to make the part, of also designing a tool used to make the mold to make the part, etc.

Thus, it is seen that the invention is expressed as a process for designing an article of manufacture or as a process for designing and making an article of manufacture. Alternatively, the invention is expressed as a digital computer 140 which includes a program for the engineering design (or engineering design and making) of an article of manufacture which instructs the digital computer 140 to perform the

steps of the above-described process. Also, alternatively, the invention is expressed as a medium 120 which contains a program readable by a digital computer 140 for the engineering design (or engineering design and making) of an article of manufacture which instructs the digital computer 140 to perform the steps of the above-described process.

The foregoing description of several embodiments of the invention has been presented for purposes of illustration. It is not intended to be exhaustive or to limit the invention to the precise form disclosed, and obviously many modifications and variations are possible in light of the above teaching. It is intended that the scope of the invention be defined by the claims.

#### 4. Brief Description of Drawings

Figure 1 is a hybrid apparatus/process block diagram (i.e., flow chart) of an implementation of the method of the invention for designing and making an article of manufacture; and

Figures 2 is a block diagram expanding individual block 100 of Figure 2;

Figure 3 is a block diagram expanding individual block 200 of Figure 2;

Figure 4, is a block diagram expanding individual block 210 of Figure 2;

Figure 5 is a block diagram expanding individual block 160 of Figure 1;

Figure 6 is a block diagram expanding individual block 180 of Figure 1; and

Figure 7 is a block diagram of steps whose performance is provided for by block 6 of Figure 3.

FIG. 1

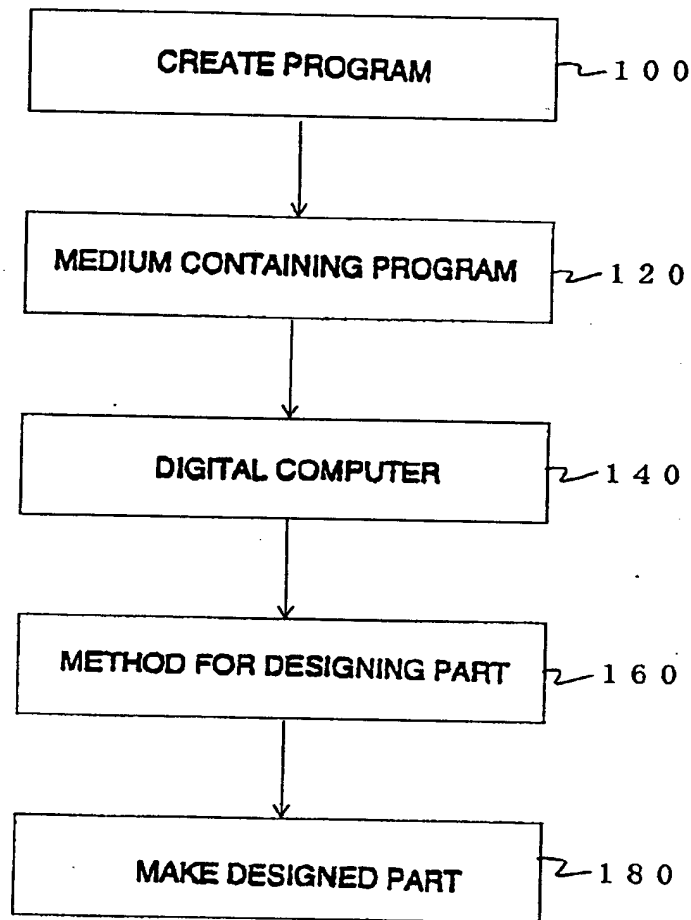


FIG. 2

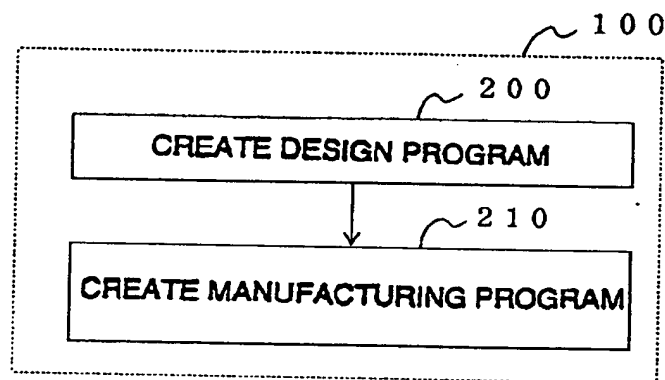


FIG. 3

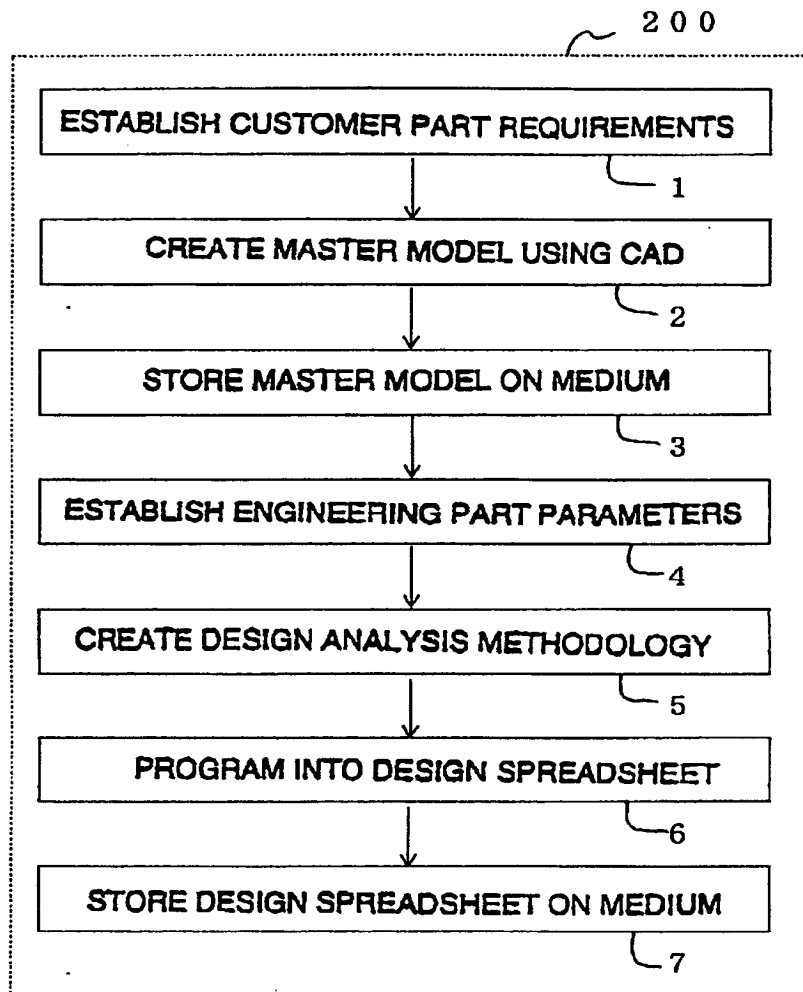


FIG. 4

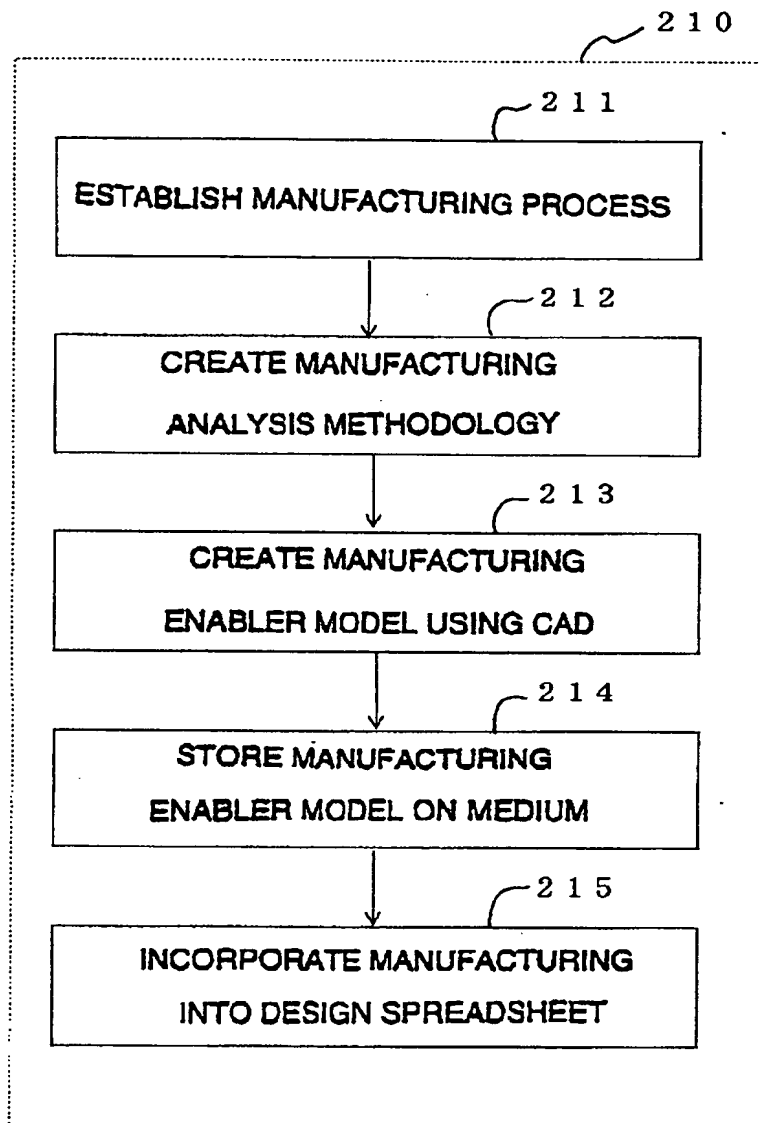


FIG. 5

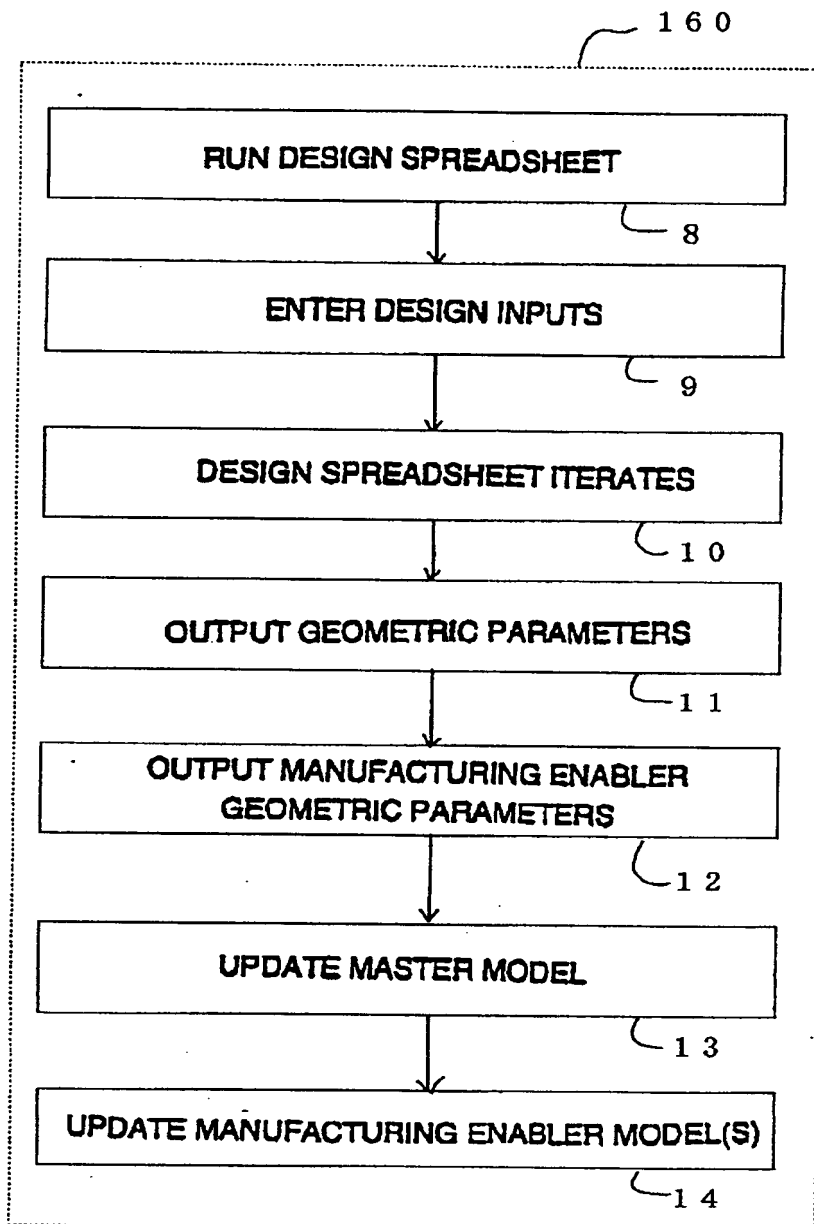




FIG. 6

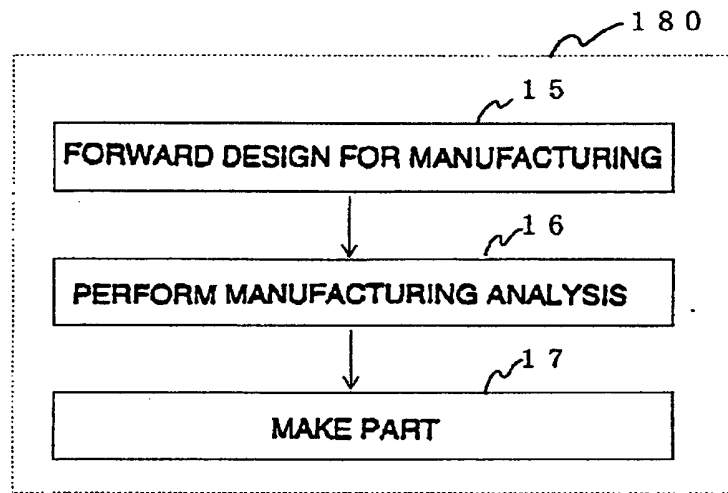
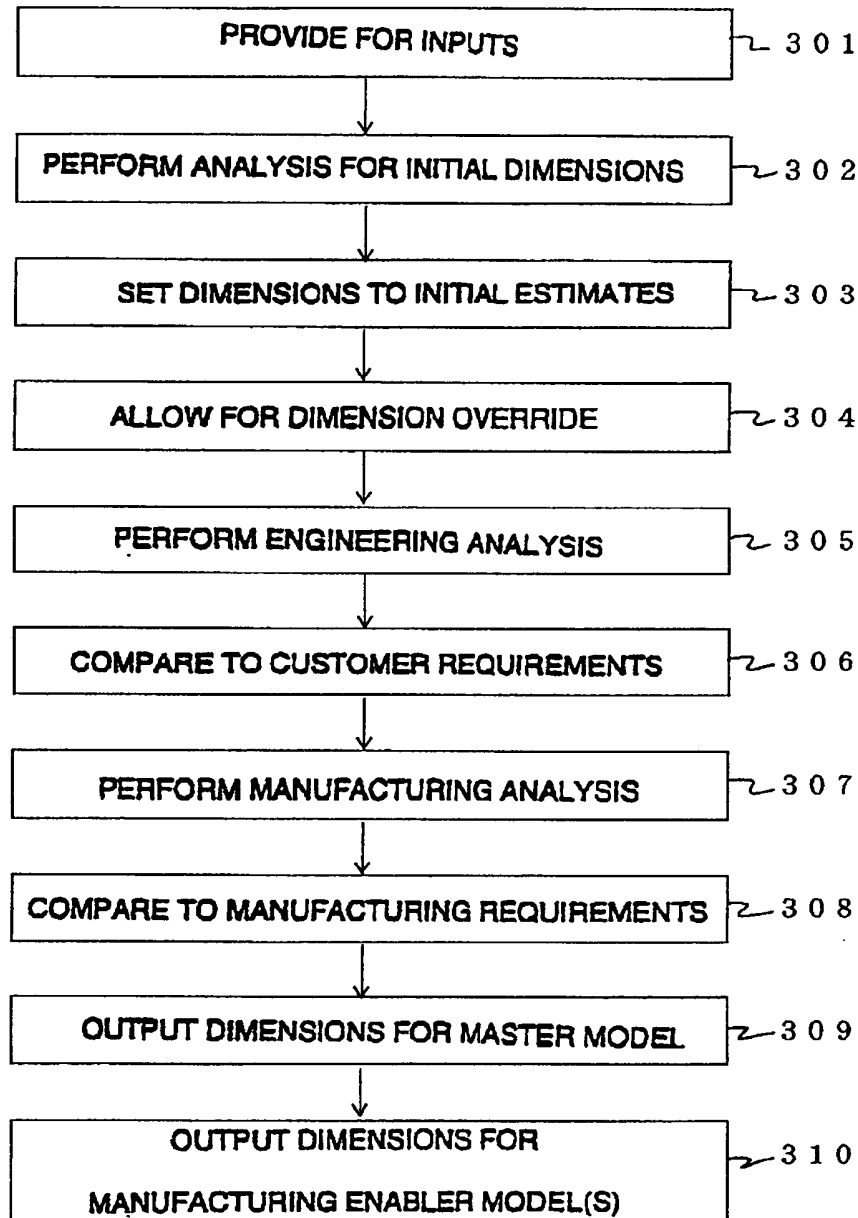


FIG. 7



## 1. Abstract

A method for designing, and optionally making, an article of manufacture. Customer requirement parameters are defined and related engineering parameters are chosen. A parametric geometrical representation (i.e., a master model) of the article is created in terms of geometric parameters using a computer program. A design analysis methodology is created and programmed into a computer code and stored on a computer medium such that the engineering parameters and the customer requirement parameters are program inputs and the geometric parameters of the master model are program outputs. Specific values of the inputs are inputted into the computer code. The computer code is run on a digital computer and specific values of the geometric parameters of the master model are outputted.

2. Representative Drawing:      Figure 1

**THIS PAGE DELETED (00110)**